

состоящей из пор постоянного размера по длине фильтрации.

Снижение гидравлической эффективности по сравнению с идеальной пористой средой у материала МР связано с изменением размера пор вдоль направления фильтрации и их извилистостью, что вызывает дополнительные гидравлические потери.

#### Список литературы

1. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. М. Машиностроение, 1981, - 247с.
2. Минц Д.Е., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. М.
3. Минкоммунхоз РСФСР, 1955, - 112с.

### СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКОНОМИЧНОСТИ КАМЕР СГОРАНИЯ ЖРД

Калмыков Г.П., Лозино-Лозинская И.Г., Исаков Д.В.  
ФГУП Исследовательский центр имени М.В. Келдыша.  
Росавиакосмос, г. Москва

Широкие фундаментальные теоретические исследования по термодинамике, теплообмену и газовой динамике, проведенные под руководством основоположников ЖРД: М.В. Келдыша, В.П. Глушко, А.П. Ваничева, позволили разработать основы расчетов энергетических характеристик камер сгорания. Именно тогда сложились методы расчета термодинамических свойств продуктов сгорания, определяющие теоретические значения энергетических характеристик камер сгорания ЖРД на различных компонентах топлива для любых сочетаний параметров, созданы уникальные базы данных, изданы справочники и программы расчета.

Абсолютными характеристиками экономичности камер сгорания ЖРД являются значения удельного импульса тяги в пустоте  $J_{\Pi}$  и характеристическая скорость  $C$ .

С точки зрения общей термодинамики и термодинамического цикла вся масса компонентов топлива, поступающих в КС должна дать импульс тяги и характеристическую скорость, равные

$$J_{\Pi}^T = f(Km; p_k; I_{O_2}; I_{ГОР}; Fa)$$
$$C_T = f(Km; p_k; I_{O_2}; I_{ГОР})$$

где  $J_{\Pi}^T$ ,  $C_T$  - теоретические значения удельного импульса камеры и характеристической скорости, рассчитываемые по значениям энтальпий компонентов на входе в смесительную головку камеры сгорания, при полном давлении на входе в сопло  $p_k$  и соотношении компонентов топлива  $Km$  в камере сгорания. Значение  $Km$  определяется параметрами изделия (РН).

Однако действительные значения  $J_{\Pi}$  и характеристической скорости  $C$  отличаются от теоретических значений на величины

$$\Delta J = J_{\Pi}^T - \Delta J_{\Pi} = \Delta J_H + \Delta J_{PAC} + \Delta J_{TP} + \Delta J_{XH}$$

и

$$\Delta C = C_T - C^*,$$

где  $\Delta J_H$  - потери импульса на неоднородность потока продуктов сгорания;

$\Delta J_{PAC}$  - потери на рассеяние;

$\Delta J_{TP}$  - потери на трение;

$\Delta J_{XH}$  - потери на химическую неравновесность.

Для удобства сравнения экономических характеристик различных двигателей, введены относительные характеристики экономичности: коэффициент удельного импульса тяги  $\varphi_J$  и коэффициент камеры  $\varphi_K$ .

$$\varphi_J = \frac{J_{\Pi}}{J_{\Pi}^T} : \varphi_K = \frac{C}{C_T},$$

В соответствии с разработанными представлениями о реальных физических процессах преобразования топлива в камере сгорания, течения продуктов сгорания в сопле камеры на основе математического описания этих процессов была введена система коэффициентов, определяющих энергетические потери при преобразовании топлива в камере сгорания и при истечении продуктов сгорания в сопле, что позволило разработать и использовать ряд инженерных методик расчета экономичности камер сгорания ЖРД.

$$\varphi_J = \frac{J_{\Pi}}{J_{\Pi}^T} = 1 - \frac{\Delta J_H}{J_{\Pi}^T} - \frac{\Delta J_{PAC}}{J_{\Pi}^T} - \frac{\Delta J_{TP}}{J_{\Pi}^T} - \frac{\Delta J_{XH}}{J_{\Pi}^T} =$$

$$1 - \zeta_H - \zeta_{PAC} - \zeta_{TP} - \zeta_{XH},$$

$$\varphi_K = \frac{C^*}{C_T} = 1 - \frac{\Delta C}{C_T}.$$

Необходимо отметить, что для расчетной оценки значений удельного импульса тяги до сих пор используется не метод прямого расчета рабочего процесса, а комплекс взаимосвязанных расчетных инженерных методик, рассчитывающих ряд коэффициентов энергетических потерь,

сопровождающих протекание реальных процессов, происходящих в камере.

Остановимся подробнее на определении потерь характеристик экономичности на неравномерность потока ПС. Как показал анализ характеристик экономичности и степени совершенства рабочего процесса причиной появления неоднородности состава продуктов сгорания камеры сгорания являются конструктивные особенности смесительных элементов камеры сгорания и завесное охлаждение.

На основании анализа достаточно обширного и корректного материала экспериментальной отработки камер сгорания создаваемых и эксплуатируемых в отрасли ЖРД, целенаправленных экспериментальных работ по изучению процессов смешения и преобразования топлива в камере сгорания была принята следующая схематизация процесса истечения продуктов сгорания из камеры сгорания:

- Реальный многослойный поток продуктов сгорания, образованный конечным числом смесительных элементов и завесным охлаждением представляется двумя основными слоями: пристеночным слоем, образующимся в результате перемешивания завес камеры с набегающим потоком продуктов сгорания смесительной головки, и слоем ядра потока. Массовые доли и состав слоев определяются по начальному распределению компонентов на смесительной головке. Наличие этих двух слоев, в которых соотношение компонентов существенно отличается от среднемассового, определяет потери удельного импульса на неравномерность масштаба камеры (КМ). Потери, связанные с достигнутым уровнем совершенства смесительных элементов отработанных камер сгорания, определяются неоднородностью состава продуктов сгорания, так называемого, малого масштаба (ММ) - масштаба смесительного элемента (СЭ) камеры.
- Принимая, что состав продуктов сгорания, по сечениям сопла от входа до выхода, отличающийся от среднего состава, не изменяется, т.е. перемешивание завершилось или его эффект по длине сопла пренебрежимо мал, то справедливо следующее:

$$J_H = \sum_1^n g_i * J_{II}^{T(i)} ; \quad C = \sum_1^n g_i * C_T^{(i)},$$

Такое предположение дает возможность использования и тяговых, и расходных характеристик камер сгорания при обработке экспериментальных данных и исходя из представлений о протекании рабочего процесса в камере сгорания и организации смешения компонентов топлива, построить такую схематизацию неоднородностей мелкого (ММ) и крупного (КМ) масштаба, которая по потерям характеристик экономичности будет соответствовать эксперименту. Таким образом могут быть увязаны

рассчитанные по отдельным методикам потери на трение, рассеяние, химическую неравновесность и неравномерность потока продуктов сгорания.

Для задания связи между конструктивными особенностями смесительных элементов и потерями на неравномерность мелкого масштаба был введен количественный критерий, отвечающий за совершенство смесительных элементов.

Важность введения количественных критериев заключается в том, что конкретизируется современный, достигнутый уровень совершенства элементов камеры сгорания на различных топливах и для камер сгорания ЖРД различных схем двигателей, определяются реальные возможности совершенствования агрегата на этапе проектирования и отработки камеры. По результатам отработки большого числа камер сгорания различных двигателей и их эксплуатации была составлена и постоянно обновляется база данных, отражающая достигнутый уровень степени совершенства смесительных элементов. На этапе доводки двигателя предварительная оценка степени совершенства элементов камеры или использования завесного охлаждения позволяет проводить анализ и корректировку отработки камеры сгорания двигателя при непрерывном анализе и сравнении экспериментальных и прогнозируемых значений экономичности.

Важно представлять, что полученные значения критериальных коэффициентов оценки степени совершенства смесительных элементов методически увязаны с определением остальных видов потерь в камере сгорания (потерь на трение, рассеяние, химической неравновесностью в сопле). Это означает, что по мере совершенствования методов расчета будут уточняться и пополняться полученные структуры систем коэффициентов, определяющие основные виды потерь в камере сгорания и в сопле.

## **АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНОГО РАСХОДОМЕРА**

Моголкин И.А., Орлов В.П.

Московский авиационный институт, г. Москва

Организуя измерения параметров двигателя на стенде, исследователь стремится одновременно определить значения нескольких наблюдаемых величин, обеспечить оперативный (визуальный) контроль текущего значения параметра и его ввод в ПЭВМ для последующей обработки. На рис. 1 представлена функциональная схема на основе тахонометрического датчика и микропроцессорного прибора, предназначенная для измерения расхода топлива.